

Caractérisation d'un Système Lagunaire en Zone Tropicale: Cas du lac Nokoué (Bénin)

Daouda Mama

*Corresponding Author, Laboratoire: Groupe de Recherche Eau Sol Environnement- EA 4330, 123
Avenue Albert Thomas, 87060 Limoges Cedex (France)
Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Faculté des Sciences et Techniques
Université, d'Abomey – Calavi 01 BP 526 Cotonou
E-mail: mkdaouda@yahoo.fr
Tél: 00229 96 63 81 24*

Véronique Deluchat

*Laboratoire: Groupe de Recherche Eau Sol Environnement- EA 4330, 123
Avenue Albert Thomas, 87060 Limoges Cedex (France)*

James Bowen

*Department t. of Civil Engineering
University of North Carolina at Charlotte, Charlotte NC 28223*

Waris Chouti

*Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Faculté des Sciences et Techniques
Université, d'Abomey – Calavi 01 BP 526 Cotonou*

Benjamin Yao

*Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse et de l'Environnement et des Energies
Nouvelles de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny
BP 1093 Yamoussoukro Côte d'Ivoire*

Baba Gnon

*Faculté des Sciences et Techniques – Université de Kara
Rue Chaminade angle CIB-INTA, B.P : 404 Kara – Togo*

Michel Baudu

*Laboratoire: Groupe de Recherche Eau Sol Environnement- EA 4330, 123
Avenue Albert Thomas 87060 Limoges Cedex (France)*

Résumé

Cette étude a permis de faire le bilan hydrologique du lac Nokoué et de connaître la qualité physico – chimique des eaux du lac en vue d'offrir les éléments de base pour une modélisation écologique future du système.

Les résultats du bilan hydrologique montrent que le débit moyen d'eau douce reçue par le lac en période de hautes eaux est de $216\text{m}^3/\text{s}$ essentiellement apportée par le fleuve Ouémé, le plus long fleuve du Bénin qui traverse le pays du nord au sud. Cette valeur tombe à $49\text{m}^3/\text{s}$ en saison sèche avec 86% du débit apporté par la Sô. En saison sèche, la Sô

à Ganvié a le taux le plus important de charge organique (53% de DBO). Pour le phosphore en saison sèche le plus fort taux est obtenu au niveau du fleuve Ouémé à Totchè (42%). En période de hautes eaux (Août à Octobre) il est observé un effet de dilution des apports.

En terme de charges nutritives apportées par les systèmes d'assainissement, les résultats obtenus sont pour Cotonou et Calavi 360kg/j -P et 840 kg/j - N et pour Ganvié 150 kg/j- P et 700 kg/j -N ; les apports des « Acadjas » donnent 2,3 – 2,9 kg/j P et 29 – 36 kg/j N.

Les principaux résultats obtenus pour la caractérisation physico – chimique se présentent comme suit :

- Une intrusion saline très remarquable en saison sèche, ainsi à Ganvié on passe de 0g/L en période de hautes eaux à 2,5g/L en saison sèche ;
- le pH moyen varie entre 6,6 et 7,5 pour les eaux du fond du lac et entre 6,9 et 7,8 pour les eaux de surface du lac. Le pH varie très peu entre le fond du lac et la surface du lac ;
- les valeurs des nutriments azotés et phosphorés sont largement supérieures aux valeurs limites indiquées par le système de classification de l'Organisation de Coopération et Développement Economique (OCDE). Les eaux du lac sont donc eutrophes.

On note une évolution saisonnière du système. Du point de vue des facteurs de contrôle des jacinthes d'eau, il ressort que les nutriments contrôlent le développement des jacinthes lorsque la salinité n'inhibe plus la croissance des jacinthes, c'est-à-dire de juillet à janvier.

Motsclés: Bilan hydrologique, lac Nokoué, charges polluantes, eau eutrophe, jacinthe d'eau, intrusion saline.

Abstract

This survey permitted to make hydrological balance of the lake Nokoué and to know quality physico - chemical of the waters of the lake in order to offer the basis elements for a future ecological modeling of the system.

The results of hydrological balance show that the average of the flow of the soft waters received by the lake in period of high waters is 216m³/s essentially brought by the Ouémé stream, the longest stream of Benin that crosses the country from the north to the south. This value falls to 49m³/s in dry season with 86% of the flow brought by the Sô river in dry season. In dry season, the Sô at Ganvié has the most important rate of organic load (53% DBO). For the phosphorus in dry season, the highest rate is gotten at the level of strongest rate is gotten at the level of Ouémé stream at Totchè (42%). In the period of high waters (from August to October) a dilution effect of the contribution is observed.

In term of nutrient loads brought by purification systems, the results obtained are 360kg/j-P and 840 kg/j - N for Cotonou and Calavi and 150 kg/j- P and 700 kg/j-N for Ganvié. The contributions of " Acadjas " give 2,3 - 2,9 kg/j P and 29 - 36 N kg/j.

The main results obtained for the physico - chemical for characterization are presented as follows:

- a very remarkable saline intrusion in dry season, Sô at Ganvié the value passes from 0g/L in period of high waters to 2,5g/L in dry season,
- the average pH varies between 6,6 and 7,5 for the waters of the bottom and between 6,9 and 7,8 for the waters of surface of the lake. The pH varies very little between the bottom of the lake and its surface,

- the values of nitrogen and phosphorus nutrients are extensively high than the limited values indicated by the system of classification by the Organization of Cooperation and Economic Development (OECD). The waters of the lake are therefore eutropheses.

We notice a seasonal evolution of the system. According to the factors of control hyacinths of waters, it is concluded that nutrients control the development of hyacinths when the salinity doesn't inhibit the growth of hyacinths anymore; that means of July to January.

Keywords: Hydrological balance, Nokoue lake, Pollutants loads, eutrophic water, water hyacinth, saline intrusion

1. Introduction

Les grands lacs estuaires comme le lac Nokoué au Bénin (Afrique de l'Ouest) subissent une forte pression démographique liée à leur situation en zones humides. Dans les lacs, les apports massifs de nutriments liés à ces multiples activités ont provoqué très souvent l'eutrophisation, caractérisée par la prolifération de la jacinthe d'eau (Ogutu – Ohwayo *et al.*, 1997, Mama D., 2010).

La prolifération des macrophytes est la principale problématique associée à l'eutrophisation en zone tropicale et principalement en Afrique, à l'opposé des zones tempérées où les cyanobactéries occupent une place de choix (Hill & Coetzee, 2008).

En zone côtière, les lagunes peuvent avoir des usages multiples : activités récréatives, pisciculture, conchyliculture, thermalisme), ce qui accroît la pression anthropique sur ces systèmes. La présence du lac Nokoué qui abrite le village atypique des pêcheurs sur pilotis appelé « villages lacustres » comme Ganvié et le flux touristique augmente le niveau des pressions anthropiques.

La croissance de la jacinthe d'eau atteint souvent des proportions d'infestation alarmante imputable à l'eutrophisation surtout dans les lacs peu profonds dont les bassins versants sont soumis à de multiples activités humaines (Feuchtmayr *et al.*, 2009). La croissance des jacinthes d'eau est souvent rythmée par les variations saisonnières et les différents facteurs environnementaux (Hadj *et al.*, 2008). En zone estuaire, la salinité, même à de faibles niveaux, a un effet préjudiciable sur la croissance de la jacinthe d'eau.

La salinité, la température et les nutriments sont considérés comme des facteurs qui gouvernent la croissance des jacinthes d'eau en zone estuaire (Wilson *et al.*, 2001).

L'objectif de ce travail est de contribuer à combler le déficit de connaissance (hydrodynamique et qualité) du système lacustre, d'évaluer les différentes charges auxquelles il est soumis avec une bonne indication des variabilités saisonnières. Le système lacustre a ainsi été caractérisé au plan quantitatif par la mesure des débits et l'estimation des charges. Le suivi des paramètres de qualité a été effectué sur 2 ans (2006 – 2007).

2. Matériel et Methodes

2.1. Site D'étude

Le lac occupe une superficie d'environ 150 km² en période d'étiage. La profondeur moyenne du lac est de 1,5m. La bathymétrie du lac Nokoué montre des valeurs caractéristiques des lacs peu profonds. La profondeur est inférieure à 1m sur 20% de la surface du plan d'eau. La zone la plus profonde (8m) se situe au niveau de l'entrée du chenal de Cotonou.

Une diminution de l'ordre de 0,6m de la profondeur maximale a été observée sur environ 20 ans (1986 à 2006) soit 0,03 m/an environ. La forte utilisation des pièges à poissons « Acadjas » et les apports sédimentaires liés à l'hydrodynamique du lac constituent les principales causes de cette tendance au comblement du lac.

Les principaux tributaires du lac sont :

- l'Ouémé, de bassin versant 46 500 km² et de longueur 523km, traverse le pays du Nord au Sud. Il est, en termes d'apport d'eau douce, largement sous l'influence de la pluviométrie de son bassin supérieur (Ouémé supérieur);
- la Sô, de bassin versant 1 000km² et de longueur 70km est connecté au fleuve Ouémé en haute eaux et entretient un bon niveau de débit en saison sèche ;
- le chenal de Cotonou de longueur 4,5 km, de largeur 300m et une profondeur variant entre 5 et 10m. Il est le tributaire d'eau de mer du lac Nokoué.

2.2. Echantillonnage

Le choix des points d'échantillonnage a été effectué afin d'avoir des informations plus précises sur le secteur du lac le plus anthropisé. Par ailleurs, il était important de pouvoir réaliser la campagne de suivi, effectuée en barque, en une journée. Ainsi 7 points de prélèvement ont été définis.

- Deux points S1 et S2 encadrent le village lacustre de Ganvié, mais par la suite, seul le point S1 a été considéré. L'objectif de ce prélèvement est d'avoir une estimation de l'impact du village lacustre de Ganvié sur le lac.
- Le point S3, situé à Sô – Ava (station de suivi des hauteurs d'eau) renseigne sur la qualité de l'eau de la rivière Sô.
- Le point S4 est situé à l'entrée du village Sôtchanhoué en partant de la branche de la seconde branche de la Sô. Il permet d'apprécier l'influence des eaux du fleuve Ouémé (marécages de la zone deltaïque).
- Le point S5, situé pratiquement au centre du lac, permet d'apprécier la dynamique de mélange des eaux du lac. Les jacinthes sont assez peu présentes dans ce secteur, de même que dans la partie Est du lac.
- Le point S6, situé à l'entrée du chenal de Cotonou, permet de suivre l'effet conjugué des collecteurs de Cotonou, des apports du côté Ouest du lac et de l'océan.
- Le point S7, correspond à une zone d'arrivée d'eaux usées d'une partie de la ville de Calavi.

Outre ces points d'échantillonnage dans le lac, des prélèvements ponctuels en 2006 ont été effectués au niveau du delta de l'Ouémé (Bonou, Aguégoué et Adjohoun). Une campagne a été effectuée en 2007 à Bonou.

Figure 1: Positionnement des points de mesure sur le lac Nokoué

2.3. Méthode D'analyse

Pour cerner l'état de la qualité de cette eau, nous nous sommes intéressés aux paramètres associés à l'eutrophisation (Ryding & Rast, 1994) et à la dynamique de croissance des jacinthes d'eau (Wilson & al 2005). Ces paramètres sont la salinité, le pH, la concentration en oxygène dissous, les composées azotés (NO_3^- et NTK), les composés phosphorés (phosphate et phosphore total), la matière organique (DBO_5).

Le pH, la salinité et la concentration en oxygène dissous sont également mesurés in situ à l'aide d'un capteur multi paramètres PC HORIBA WATER QUALITY CHECKER U – 10.

La DBO a été par un DBOmètre de la marque OxiTop.

L'azote Kjeldahl a été déterminé selon la norme AFNOR NFT 90 – 110.

La concentration en nitrate été déterminée à l'aide de Kits MERCK et HACH. Les mesures spectrométriques ont été effectuées soit à l'aide du spectrophotomètre MERCK Spectroquant NOVA ou du spectrophotomètre HACH LANGE DR 2800.

Les orthophosphates et le phosphore total sont dosés par spectrométrie en détectant le complexe phosphomolybdique de couleur bleu, selon la norme NFT 90 – 023.

3. Resultats et Discussion

3.1. Bilan Hydrologique

Les résultats des estimations des débits sont donnés par le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Débits d'entrée des tributaires Sô et Ouémé dans le lac Nokoué

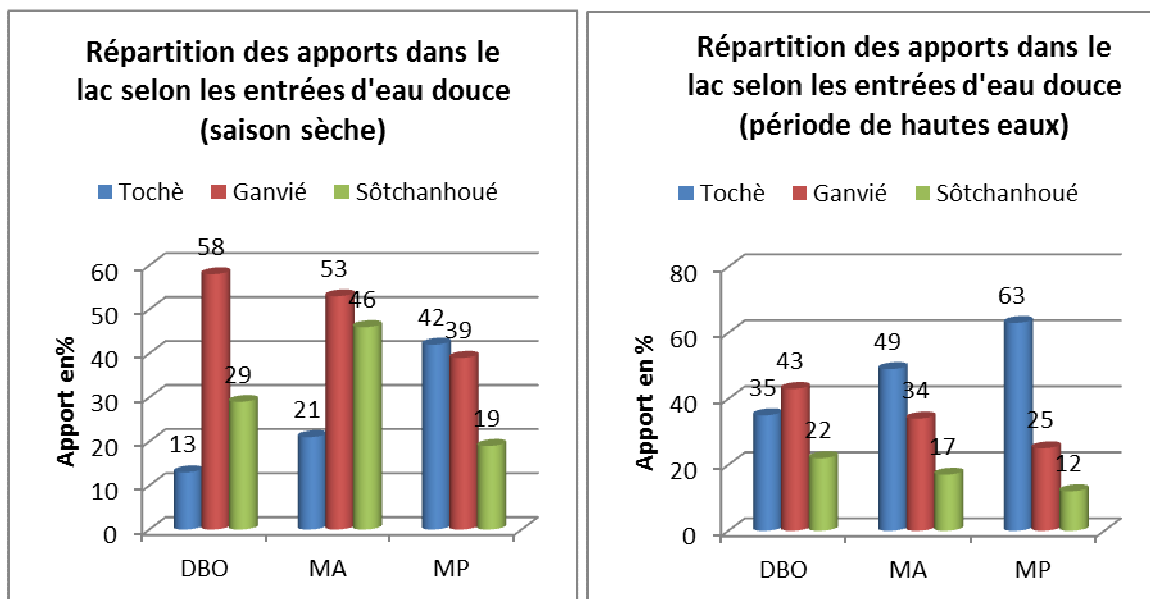
Tributaire	Entrée	Saison/ Période	Débit	DBO5 (kg/j)	MP (kg/j)	MN (Kg/j)
Fleuve Ouémé	Bonou	Saison sèche	11m ³ /s	1900	1140	142
		Hautes eaux	338 m ³ /s	29203	29203	1460
	Totchè / lac Nokoué	Saison sèche	7m ³ /s	907	725	90
		Hautes eaux	140 m ³ /s	9676	12096	604
	Rivière Sô	Sô – Ava	Saison sèche	36m ³ /s	6220	2799
Hautes eaux			204 m ³ /s	17625	12337	352
Ganvié		Saison sèche	24m ³ /s	4147	1866	82
		Hautes eaux	136 m ³ /s	11750	8225	235
		Sôtchanhoué	Saison sèche	12m ³ /s	2073	933
Hautes eaux	68 m ³ /s		5875	4112	117	
Total charge reçue en saison sèche par le lac				7127	3524	213
Total charge reçue en hautes eaux par le lac				27701	24433	956

MA=matière Azotée ; MP= Matière Phosphorée

Le principal apport d'eau douce est constitué du fleuve Ouémé et de la Sô.

3.2. Répartition des Charges Organiques et Nutritives (Azote et Phosphore)

Figure 2: Répartition des charges reçues par le lac selon les différentes entrées d'eau douce



Il apparaît qu'en saison sèche, les charges en DBO et en azote sont plus importantes au niveau de Ganvié (58%) et Sôtchanhoué (29%). Pour cette saison, les apports du fleuve Ouémé sont les plus faibles. En ce qui concerne la matière phosphorée, la charge apportée par l'Ouémé à Totchè (42%) est la plus importante. En période de hautes eaux, on assiste à un effet de dilution importante surtout pour la charge organique dont les apports semblent plus dépendre des villages lacustres et des eaux usées en provenance des quartiers environnants. Par contre, les apports des matières nutritives et surtout le phosphore semblent plus dépendre des eaux drainées à partir des bassins versants.

3.3. Charges Apportées par la Décomposition des « Acadjas » et Jacinthe d'eau Dans le lac Nokoué

Le tableau ci-dessous donne les estimations des charges liées à la décomposition des acadjas.

Tableau 2: Estimation des charges apportées par la décomposition des « acadjas » et jacinthe d'eau dans le lac Nokoué

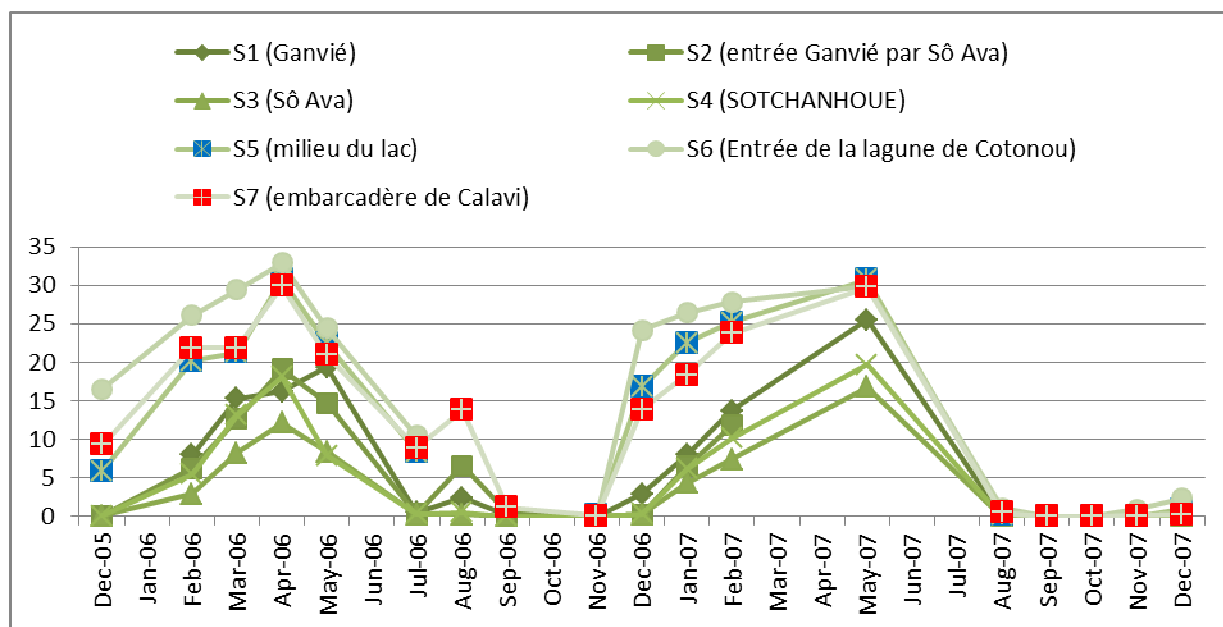
Nutriments	Charge annuelle des acadjas	Charge annuelle apportée par la jacinthe d'eau
Carbone	2100 à 2650 t	39 t
DBO ₅	5600 à 7067 t	104 t
Phosphore	0,84 à 1,06 t	0,48t
Azote	10,5 à 13,3 t	4,2 t

3.4. Suivi de la Qualité du Système

3.4.1. Paramètres Physico – Chimiques

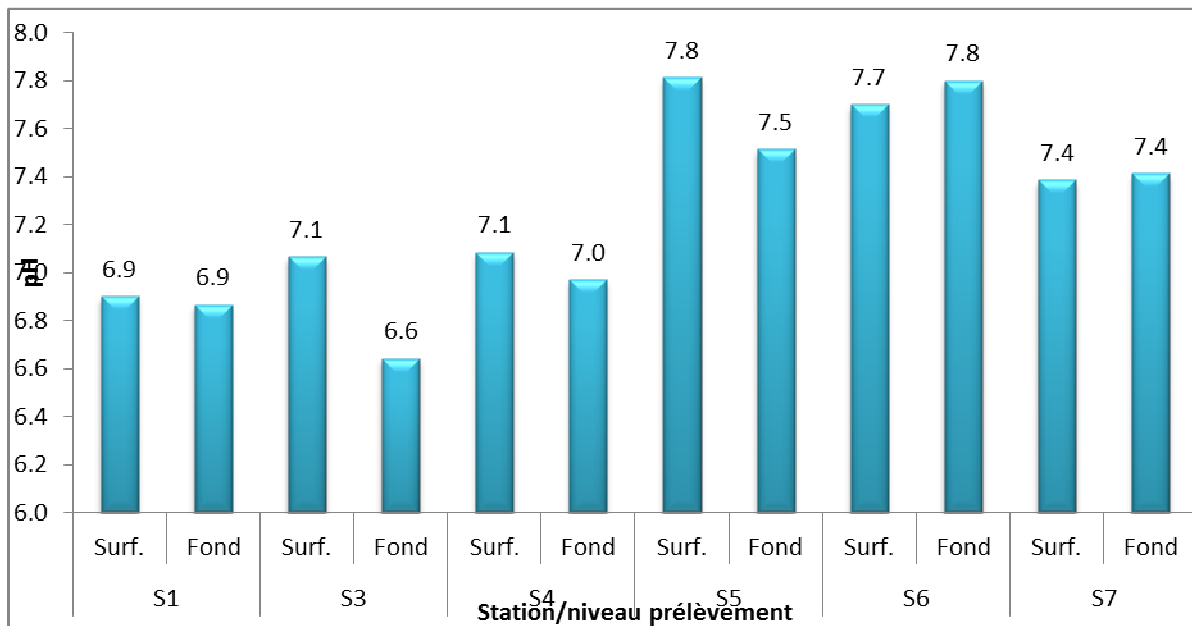
- *Salinité*

Figure 3: Evolution saisonnière de la salinité sur le lac Nokoué.



Les eaux du fleuve Ouémé influencent considérablement la dynamique du lac Nokoué. En effet, l'évolution comparée du débit avec la salinité montre que lorsque le débit du fleuve est maximum (d'août à octobre), la salinité baisse considérablement. Inversement, en saison sèche (étiage) des valeurs maximales de salinité sont atteintes alors que le débit du fleuve avoisine 2m³/s à la première station hydrologique en amont du lac : Bonou.

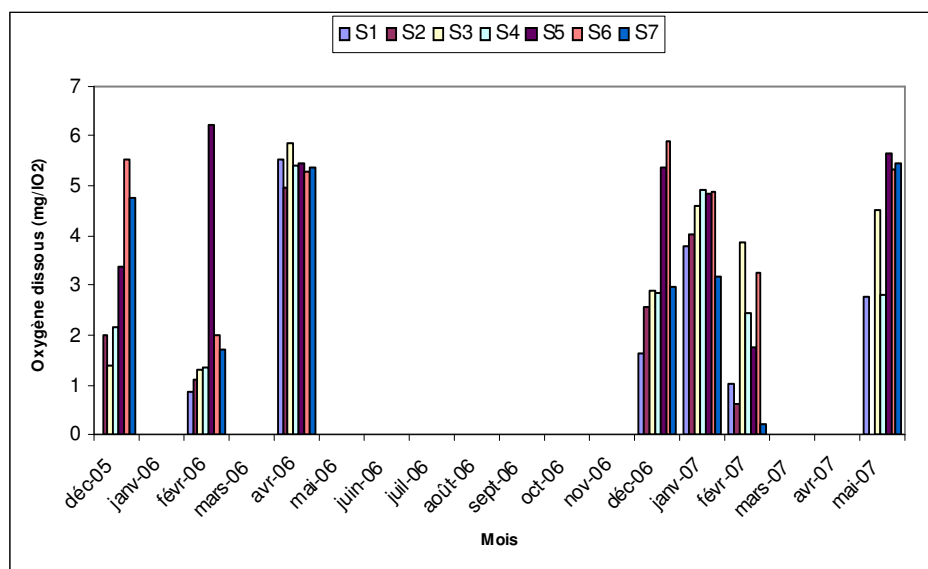
- *pH*

Figure 4: Evolution comparée des valeurs moyennes du pH de l'eau de surface et de l'eau du fond du lac Nokoué en 2007

On note une assez faible variabilité de ce paramètre ($<1,7$ unités pH) au sein du lac Nokoué. De même, ces résultats montrent qu'il y a très peu de variation du pH en passant de la surface au fond du lac pour la majorité des stations suivies, cependant les stations S3 et S5 présentent des variations relativement plus importantes. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que ce sont les zones dans lesquelles l'activité photosynthétique du phytoplancton est la plus élevée, les mesures étant faites en période diurnes, l'augmentation du pH dans la zone de surface pourrait être reliée à cette observation.

- **Oxygène dissous**

Les plus faibles concentrations en oxygène dissous se situent au niveau des points S1, S2, S4 et S7, c'est –à-dire dans les zones à forte pression anthropique. Les plus fortes valeurs sont observées aux stations S6 et S5 comme dans le cas de la profondeur au disque de Secchi.

Figure 5: Evolution dans le temps de l'oxygène dissous du lac Nokoué

Les plus faibles valeurs de la teneur en oxygène dissous sont relevées au mois de Février, qui correspond à la période de décomposition des macrophytes.

- **Matière organique : DBO₅**

La DBO₅ présente des valeurs souvent supérieures à 10 mg/L, donc relativement élevées (tableau 10). Les plus fortes valeurs observées en Février sont sans doute liées à la décomposition des macrophytes dans le lac. Pour certains points, il est probable que des phénomènes d'inhibition (liés à la présence de toxiques), interfèrent sur la mesure (cas du point S7, pour lequel les apports d'eaux usées urbaines sont majeurs).

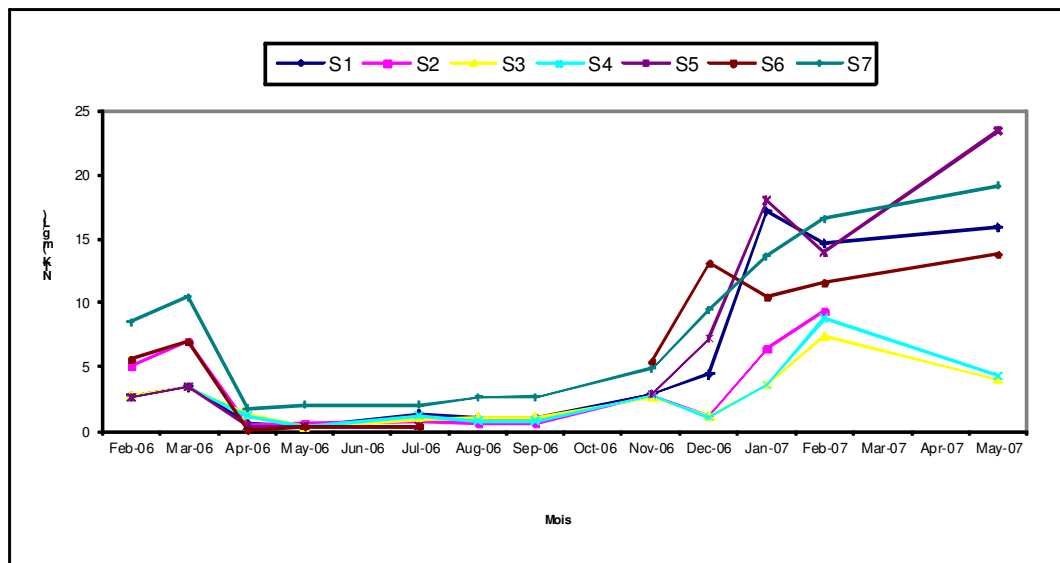
Tableau 4: Résultats des mesures de la DBO sur le lac Nokoué

Ech. Date	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Novembre 2006	10	10	13	8	8	-	13
Décembre 2006	16	15	15	-	15	3	18
Février 2007	22	31	21	30	32	35	14

- **Azote total**

Le suivi sur toute l'année de l'azote montre l'influence des facteurs climatiques sur les apports. Les paramètres azotés comme les nitrates, l'ammonium et les nitrites ont été également suivis.

Figure 6: Dynamique de l'évolution dans le temps de l'azote total NTK



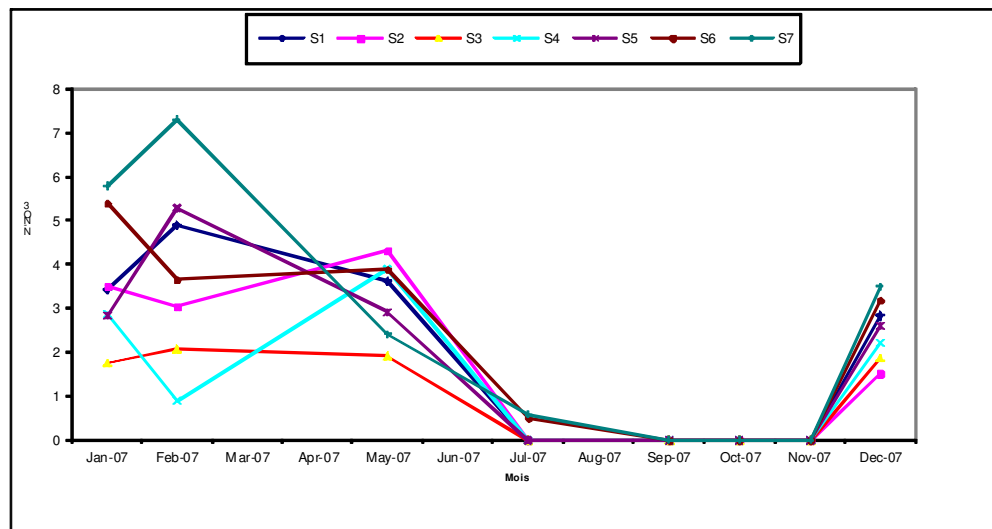
On observe des concentrations plus élevées en azote total de Février à Avril, période chaude (31 - 33°C). Le mois de février a coïncidé également avec le début de la décomposition des jacinthes mortes sous l'effet de l'accroissement de la salinité au niveau du lac. Cette phase de décomposition favorise l'augmentation de la concentration en azote dans la colonne d'eau. On notera que les plus fortes concentrations sont généralement observées en S7 et S6, qui sont les zones d'apports directs d'eaux usées domestiques. Les premières pluies du mois d'avril, ainsi que les phénomènes d'oxydation de ces formes réduites de l'azote en nitrate et nitrite, peuvent expliquer la diminution de la concentration en azote Kjeldahl observée en Avril. La suite de l'évolution des apports semble dépendre de l'hydrologie du fleuve, qui induit une dilution des apports d'azote que constituent les eaux usées rejetées directement dans le système.

- **Ion Nitrate (NO₃⁻)**

La figure 7 présente l'évolution de la concentration en nitrate sur les différents points durant l'année 2007. On observe que leur évolution suit de manière très marquée, l'effet de concentration lié à

l'évapotranspiration (concentration élevée en saison sèche) et l'effet de dilution pendant les hautes eaux (Mai – Novembre).

Figure 7: Evolution des concentrations de nitrate selon les points de prélèvement du lac Nokoué.

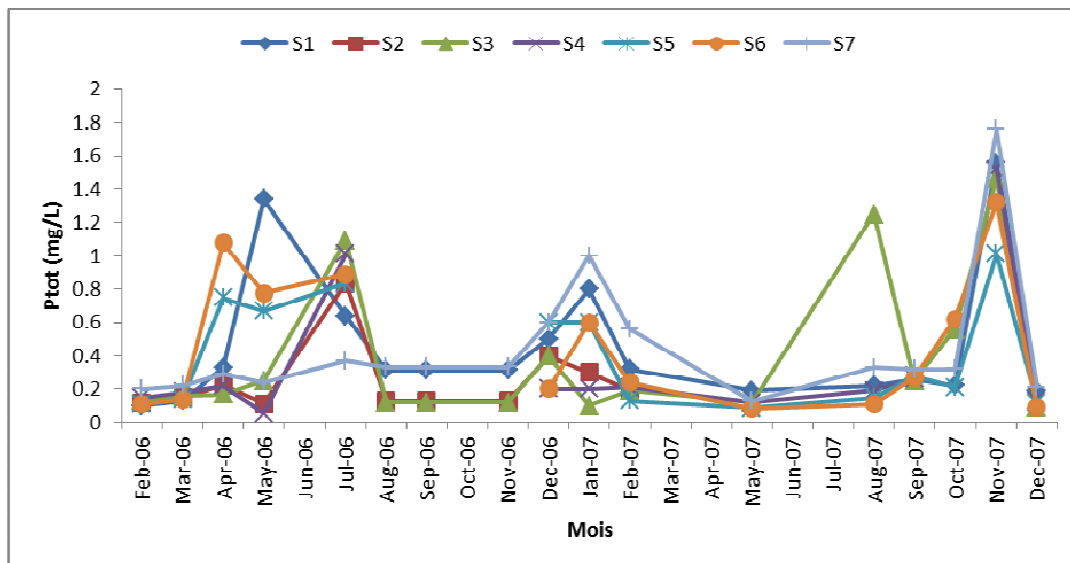


Les plus fortes concentrations en nitrates sont observées au point S7, pour lequel il n'avait pas été observé de concentration très élevée en azote ammoniacal malgré la forte anthropisation de cette zone. Ainsi, malgré des concentrations en oxygènes dissous souvent faibles dans cette zone, la nitrification semble bien s'y opérer.

- **Le phosphore total**

C'est un paramètre important de la fertilisation des plans d'eau, il joue un grand rôle dans la croissance planctonique. Ce nutriment est un indicateur pertinent de l'évaluation du niveau trophique des eaux. Les valeurs de plus de 800µg P/L obtenues au niveau des différents points, Les teneurs en phosphore diminuent au niveau de Bonou, puis restent voisines de 0,8mg P/L. Dans le lac, la concentration en P est partout inférieure à 0,8mg/L, excepté au niveau du point S4. Le rôle du fleuve Ouémé dans l'enrichissement du système en phosphore semble donc majeur.

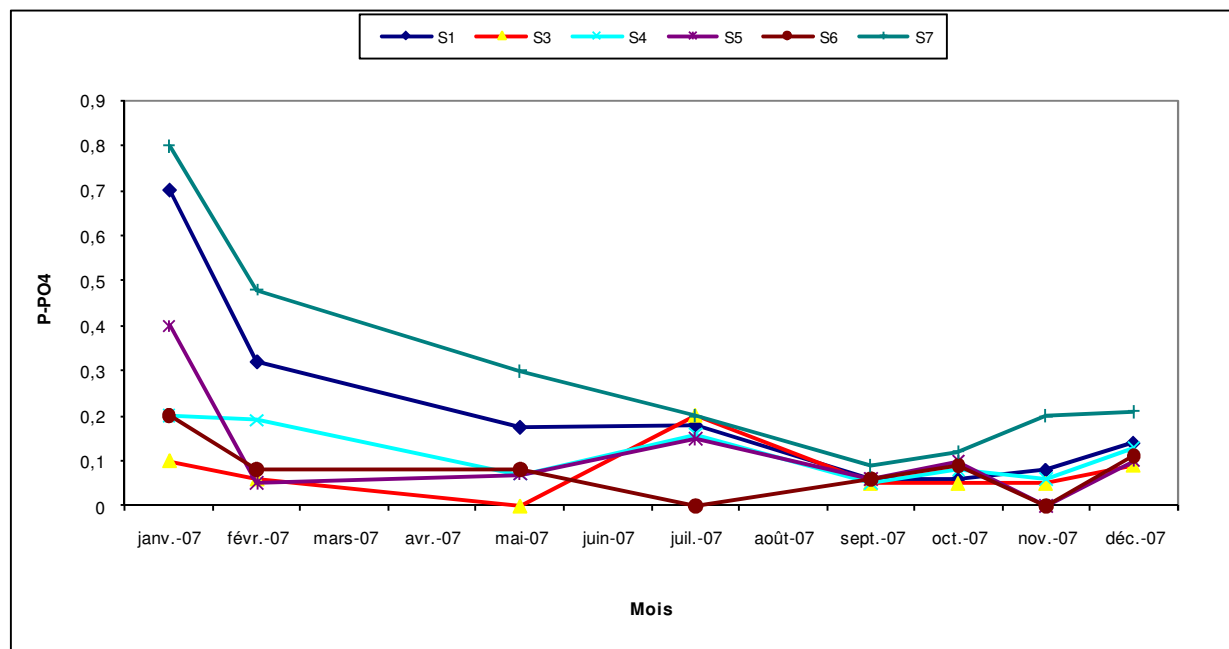
Figure 8: Dynamique de l'évolution saisonnière du phosphore total (en haut la pluviométrie et en bas l'évolution du phosphore total)



En tenant compte de la variation de la pluviométrie à Cotonou, il apparaît que les premières pluies apportent du phosphore par lessivage des bassins versants et des abords généralement occupés par des déchets solides ménagers. Un fonctionnement différent concernant l'enrichissement du milieu en azote et phosphore peut être envisagé. Il apparaît que les eaux usées jouent un rôle majeur dans les apports d'azote, alors que le fleuve Ouémé qui draine les eaux du bassin de l'Ouémé supérieur à forte exploitation d'engrais pour les champs de coton apporterait une grande partie du phosphore. Ce résultat est conforme à ceux obtenus plus haut au cours de l'estimation des charges polluantes.

- **Phosphate (PO_4^{3-})**

Figure 9: Evolution des concentrations en phosphore selon les points de prélèvement du lac Nokoué.



Les concentrations en phosphates subissent les effets de dilution en saison de hautes eaux et de concentration en saison sèche avec une amplitude moindre comparée à celle des nitrates.

Globalement les nutriments solubles dans la colonne d'eau sont très sensibles aux effets de dilution dus aux apports d'eau douce des tributaires de Mai à Novembre et à l'évapotranspiration prolongée en saison sèche, de Novembre à Avril.

Les concentrations les plus élevées sont là aussi observées au niveau de la station S7, sous l'influence des apports de Calavi. Le point S1 (village de Ganvié) présente également des concentrations en phosphate très élevées (toujours supérieures à 100µg/L).

4. Discussions

Les teneurs en matière organique biodégradable (DBO) sont assez élevées, de l'ordre de 10 mg/l d'O₂. Des valeurs très élevées sont obtenues en février période forte concentration, ce qui s'explique par la décomposition des macrophytes dans le lac et l'absence de dilution par les eaux douces (fleuve Ouémé ou eaux de pluie).

La décomposition de tous ces végétaux occasionne une importante consommation d'oxygène dissous, et va s'accompagner d'une désoxygénation du milieu, en particulier à l'interface eau/sédiment.

Les sources endogènes de nutriment proviennent essentiellement du relargage à partir des sédiments. Lorsque les nutriments ont atteint un lac, ils sont recyclés entre les sédiments, les plantes aquatiques et la colonne d'eau. À terme, les nutriments devraient être stockés dans les sédiments. Cependant, un changement de conditions dans le lac peut entraîner le relargage des nutriments. Le

relargage du phosphore vers la colonne d'eau est un processus complexe. Plusieurs mécanismes, physiques, chimiques et biologiques, interviennent. Plusieurs facteurs sont considérés comme responsables des taux de relargage du phosphore : le potentiel d'oxydoréduction, la concentration en nitrates, la minéralisation, la libération de gaz, la bioturbation, les effets du phytoplancton et des macrophytes, les caractéristiques des sédiments, un pH élevé et le brassage éolien (Van Hullebusch, 2002, Mama, 2010)

Apports exogène de nutriments dans le système : par les eaux usées rejetées directement dans le lac, les eaux de lessivage suite aux précipitations sur le bassin versant du fleuve Ouémé et de la Sô, ainsi que sur la zone urbanisée à proximité du lac.

La salinité du milieu est contrôlée par les apports d'eau douce du fleuve, les précipitations directes et les marées via le chenal de Cotonou. Au plan de la dynamique hydrologique, l'évolution des débits journaliers de 2000 à 2005, montre qu'au cours des mois d'août, septembre et octobre, la salinité du lac Nokoué est essentiellement influencée par le fleuve Ouémé et la rivière Sô.

L'évapotranspiration, étant supérieure à la hauteur des précipitations peut contribuer significativement à la concentration des nutriments et de la salinité dans le lac. En effet, l'exploitation des données de l'ASECNA a révélé une moyenne interannuelle de l'ETP égale à 1669,7 mm à Cotonou et un taux d'évaporation durant l'année variant entre 4 et 6 mm/jour.

5. Conclusion

Selon la classification de l'OCDE, les différents résultats relatifs à l'évolution saisonnière des paramètres physico chimiques, des concentrations en nutriments, montrent que le système est eutrophe pour tous les points suivis.

Les résultats de ce travail ont permis de disposer de données de base qui pourront être exploitées pour modélisation de contrôle de la croissance des jacinthes d'eau dans le lac Nokoué. On note une évolution saisonnière du système. Du point de vue des facteurs de contrôle des jacinthes d'eau, il ressort que ;

- la température moyenne étant de 27°C, ce qui correspond à la température optimale de croissance des jacinthes d'eau, ce paramètre ne conditionnera donc pas le développement des jacinthes dans ce système.
- la salinité inhibe totalement la croissance des jacinthes de février à juin dans l'ensemble du lac.
- les nutriments contrôlent le développement des jacinthes lorsque la salinité n'inhibe plus la croissance des jacinthes, c'est-à-dire de juillet à janvier.

Remerciement

Les auteurs tiennent à remercier l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) pour le soutien financier qu'elle a apporté à cette étude

Références

- [1] Feuchtmayr H., Moran R. Hatton K., Connor L., Heyes T. Moss B. Harvay I., & Atkinson D. (2009) Global warming and eutrophication: effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms. *Journal of Applied Ecology*, 46, 713–723.
- [2] Hadj Amor R., Quaranta G., Gueddari F., Million D. & Clauer N. (2008) The life cycle impact assessment applied to a coastal lagoon: the case of the Slimane lagoon (Tunisia) by the study of seasonal variations of aquatic eutrophication potential. *Environmental Geology* 54, 1103 – 1110.

- [3] Hill P.M. & Coetzee J.A. (2008) Integrated control of water hyacinth in Africa. EPPO Bulletin 38, 452 – 457.
- [4] Mama Daouda, 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Benin). Thèse de doctorat, Université de Limoges ; 157p.
- [5] Ogutu –Ohwayo R., Hecky R.E., Cohen S.A. & Kauf L. (1997) Human Impacts on the African Great Lakes. Environmental Biology of Fishes 50, 117–137.
- [6] Ryding S.O. & Rast W, (1994). Contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs. Collection des Sciences de l'Environnement n°9. Masson éditeur. Paris. 294 p.
- [7] Van Hullebusch, E., Deluchat, V., Chazal, P.M. and Baudu, M.: 2002b, 'Environmental impact of two successive chemical treatments in a small shallow eutrophied lake: (II) case of copper sulfate', *Environmental Pollution* **120**, 627–634.
- [8] Wilson J. R., Rees M., Thomas M. & Hill G. (2001) Water hyacinth population dynamics. ACIAR Proceedings 102, (pp. 96-104).
- [9] Wilson J.R., Holst N. & Rees M. (2005) Determinants and patterns of population growth in water hyacinth. Aquatic Botany 81, 51-67.